

## TELEMATIK

ANALISIS RESPON DAN KESTABILAN SISTEM KONTROL HIDROLIK PADA PENGANGKAT FORKLIFT

**Zuliantoni Dan Nurul Iman Supardi**

IMPLEMENTASI KODE KONVOLUSI (2,1,2) PADA FPGA MENGGUNAKAN PEMODELAN VHDL

**Reza Satria Rinaldi**

STRUCTURAL EQUATION MODELLING (SEM)  
(TERAPAN PADA FAKTOR-FAKTOR KEPUASAN KERJA)

**Dian Agustina**

MENINGKATKAN KOMPETENSI DOSEN DAN MAHASISWA FKIP UNIB UNTUK MAMPU MELIHAT POTENSI PIKIRAN, ANGGOTA BADAN, WAKTU DAN EFISIENSI SEBAGAI MODAL DALAM MERAH SUKSES BERWIRAUSAHA

**M. Ilham Abdullah**

DATA HILANG DALAM RANCANGAN ACAK KELOMPOK LENGKAP DASAR

**Idhia Sriliana**

SISTEM INFORMASI BERBASIS JARINGAN PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH BENGKULU

**Z. Hartawan**

PENGEMBANGAN MEDIA DAN METODE PEMBELAJARAN PRAKTIK PENYEBARAN (Studi Kasus)

**Harwadi**

RANCANG BANGUN SISTEM DATA SPASIAL BERBASIS MOBILE GIS MENGGUNAKAN TEKNOLOGI J2ME DAN XML

**Edy Hermansyah, Yulian Fauzi, Meitia Eka Rahma**

KAJI EKSPERIMENTAL KEMIRINGAN SALURAN TERHADAP MEKANISME INISIASI FLOODING

**Angky Puspawan**

ADAPTIVE BACKGROUND DENGAN METODE GAUSSIAN MIXTURE MODELS UNTUK REAL-TIME TRACKING

**Kirman**

FIREWALL DAN TRAFFIC FILTERING MENGGUNAKAN CISCO ROUTER

**Mustaziri**

SENSORING RUANGAN MENGGUNAKAN WEB CAM

**M. Yatim**



## TELEMATIK

ANALISIS RESPON DAN KESTABILAN SISTEM KONTROL HIDROLIK PADA PENGANGKAT FORKLIFT

**Zuliantoni Dan Nurul Iman Supardi**

IMPLEMENTASI KODE KONVOLUSI (2,1,2) PADA FPGA MENGGUNAKAN PEMODELAN VHDL

**Reza Satria Rinaldi**

STRUCTURAL EQUATION MODELLING (SEM)  
(TERAPAN PADA FAKTOR-FAKTOR KEPUASAN KERJA)

**Dian Agustina**

MENINGKATKAN KOMPETENSI DOSEN DAN MAHASISWA FKIP UNIB UNTUK MAMPU MELIHAT POTENSI PIKIRAN, ANGGOTA BADAN, WAKTU DAN EFISIENSI SEBAGAI MODAL DALAM MERAH SUKSES BERWIRAUSAHA

**M. Ilham Abdullah**

DATA HILANG DALAM RANCANGAN ACAK KELOMPOK LENGKAP DASAR

**Idhia Sriliana**

SISTEM INFORMASI BERBASIS JARINGAN PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH BENGKULU

**Z. Hartawan**

PENGEMBANGAN MEDIA DAN METODE PEMBELAJARAN PRAKTIK PENYEBARISAN  
(Studi Kasus)

**Harwadi**

RANCANG BANGUN SISTEM DATA SPASIAL BERBASIS MOBILE GIS MENGGUNAKAN TEKNOLOGI J2ME DAN XML

**Edy Hermansyah, Yulian Fauzi, Meitia Eka Rahma**

KAJI EKSPERIMENTAL KEMIRINGAN SALURAN TERHADAP MEKANISME INISIASI FLOODING

**Angky Puspawan**

ADAPTIVE BACKGROUND DENGAN METODE GAUSSIAN MIXTURE MODELS UNTUK REAL-TIME TRACKING

**Kirman**

FIREWALL DAN TRAFFIC FILTERING MENGGUNAKAN CISCO ROUTER

**Mustaziri**

SENSORING RUANGAN MENGGUNAKAN WEB CAM

**M. Yatim**



**DAFTAR ISI**

1.	ANALISIS RESPON DAN KESTABILAN SISTEM KONTROL HIDROLIK PADA PENGANGKAT FORKLIFT <b>Zuliantoni Dan Nurul Iman Supardi</b>	504 - 511
2.	IMPLEMENTASI KODE KONVOLUSI (2,1,2) PADA FPGA MENGUNAKAN PEMODELAN VHDL <b>Reza Satria Rinaldi</b>	512 - 522
3.	STRUCTURAL EQUATION MODELLING (SEM) (TERAPAN PADA FAKTOR-FAKTOR KEPUASAN KERJA) <b>Dian Agustina</b>	523 - 531
4.	MENINGKATKAN KOMPETENSI DOSEN DAN MAHASISWA FKIP UNIB UNTUK MAMPU MELIHAT POTENSI PIKIRAN, ANGGOTA BADAN, WAKTU DAN EFISIENSI SEBAGAI MODAL DALAM MERAH SUKSES BERWIRAUSAHA <b>M. Ilham Abdullah, M.Pd</b>	532 - 536
5.	DATA HILANG DALAM RANCANGAN ACAK KELOMPOK LENGKAP DASAR <b>Idhia Sriliana</b>	537 - 543
6.	SISTEM INFORMASI BERBASIS JARINGAN PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH BENGKULU <b>Z. Hartawan</b>	544 - 551
7.	PENGEMBANGAN MEDIA DAN METODE PEMBELAJARAN PRAKTIK PENYEBARISAN (Studi Kasus) <b>Harwadi</b>	552 - 559
8.	RANCANG BANGUN SISTEM DATA SPASIAL BERBASIS MOBILE GIS MENGGUNAKAN TEKNOLOGI J2ME DAN XML <b>Edy Hermansyah, Yulian Fauzi, Meitia Eka Rahma</b>	560 - 566
9.	KAJI EKSPERIMENTAL KEMIRINGAN SALURAN TERHADAP MEKANISME INISIASI FLOODING <b>Angky Puspawan</b>	567 - 574
10.	PEMAMFAATAN BARCODE DALAM APLIKASI PENJUALAN BARANG PADA MINIMARKET <b>Kirman</b>	575 - 581
11.	FIREWALL DAN TRAFFIC FILTERING MENGGUNAKAN CISCO ROUTER <b>Mustaziri</b>	582 - 590
12.	SENSORING RUANGAN MENGGUNAKAN WEB CAM <b>M. Yatim</b>	591 - 597



## ANALISIS RESPON DAN KESTABILAN SISTEM KONTROL HIDROLIK PADA PENGANGKAT FORKLIFT

Oleh : Zuliantoni Dan Nurul Iman Supardi

### ABSTRAK

*Untuk melihat performa sistem hidrolik perlu dilakukan pengujian kestabilan. Studi kestabilan dilakukan sebagai pijakan dalam mengambil solusi dan metode untuk mendeteksi dan mengatasi permasalahan yang terjadi pada sistem hidrolik pada pengangkat forklift. Selain itu, studi kestabilan juga merupakan salah satu langkah awal dalam suatu tindakan evaluasi kinerja suatu peralatan industri yang mengarah pada suatu optimasi dan otomasi proses manufaktur dalam dunia industri. Adapun tujuan penelitian ini adalah menyusun dan menganalisis pemodelan dinamik sistem hidrolik pada pengangkat forklift dan melakukan analisa respon dan kestabilan sistem hidrolik pada pengangkat forklift. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tiap rangkaian silinder memberikan respon pressure dan flowrate yang berbeda yang diakibatkan karena perbedaan dimensi, perbedaan tuntutan kondisi operasi, dan penggunaan komponen yang berbeda. Respon pressure dan flowrate tersebut mengindikasikan performa yang berbeda untuk tiap sistem berdasarkan tuntutan proses. Hasil uji stabilitas menunjukkan bahwa sistem hidrolik pada pengangkat forklift memenuhi stabilitas.*

**Kata Kunci : Respon, Kestabilan Sistem, Hidrolik, Forklift**

### PENDAHULUAN

Forklift adalah jenis alat angkat yang berjalan seperti mobil sehingga dapat bekerja pada daerah yang sempit. Pada forklift ada dua silinder hidrolik yang bekerja untuk menahan gaya vertikal pada saat proses pengangkatan dan silinder horizontal yang berfungsi untuk menahan momen yang terjadi akibat tumpuan beban barang yang diangkat cukup jauh dari poros roda depan. Beban yang diterima Silinder 1 adalah sama dengan beban barang yang diangkat, sedangkan beban yang diterima Silinder 2 adalah momen yang terjadi pada beban dengan tumpuan roda, yang dipindahkan pada Silinder 2. Untuk melihat performa sistem hidrolik tersebut perlu dilakukan pengujian kestabilan. Studi kestabilan dilakukan sebagai pijakan dalam mengambil solusi dan metode untuk mendeteksi dan mengatasi permasalahan yang terjadi pada sistem hidrolik Forklift. Selain itu, studi kestabilan juga merupakan salah satu langkah awal dalam suatu tindakan evaluasi kinerja suatu peralatan industri yang mengarah pada suatu optimasi dan otomasi proses manufaktur dalam dunia. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah; 1).Menyusun dan menganalisis pemodelan dinamik sistem hidrolik pada pengangkat forklift, dan 2).Melakukan analisis respon dan kestabilan sistem hidrolik pada pengangkat forklift.



Batasan yang digunakan untuk menganalisa permasalahan ini adalah; 1).Sistem yang dianalisa adalah gerak angkat Forklift dengan parameter yang berpengaruh seperti flowrate dan tekanan, 2).Jenis rangkaian hidrolik yang dianalisa adalah murni hidrolik (mechanical, bukan *electrohydraulic*), 3).Fluida hidrolik mempunyai properti yang konstan (Temperature independent), 4).Asumsi pada clearance valve bahwa efek kebocoran diabaikan dan pada valve tiap ports bersifat null, artinya tidak terjadi underlapped dan overlapped, 5).Pada tiap bagian silinder hidrolik mempunyai tekanan yang uniform dengan besar yang berbeda terhadap bagian silinder lainnya dan fenomena terjadinya cavitasi diabaikan, 6).Pengaruh akibat vibrasi diabaikan, dan 7).Simplifikasi failure analysis adalah mengasumsikan pada sistem terjadi pembebanan statis dan pendekatan Thick Walled Cylinder Analysis digunakan sebagai simplifikasi failure analysis pada tabung silinder hidrolik, dan diamati pada beban maksimum.

### TINJAUAN PUSTAKA

*Double Acting Cylinder* (DAC); Saat silinder maju (*extend*):

Debit aliran pada bagian belakang silinder 1.0 (in) ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) ( $Q_{\text{belakang}_1}$ ):

$$Q_{\text{belakang}_1} = A_{\text{pis}_1} \cdot \dot{x} + \frac{V_{b_1} \cdot dp_{b_1}}{\beta_F \cdot dt}$$

Debit aliran pada bagian depan silinder 1.0 (out) ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) ( $Q_{\text{depan}_1}$ ):

$$Q_{\text{depan}_1} = A_{\text{rod}_1} \cdot \dot{x} - \frac{V_{d_1} \cdot dp_{d_1}}{\beta_F \cdot dt}$$

Karena volume pada silinder bervariasi, maka dapat ditulis:

$$Q_{\text{belakang}_1} = \frac{Q_{p_1}}{CR} + \frac{V_{b0_1}}{\beta_F} \cdot p_{b_1} \cdot s$$

$$Q_{\text{depan}_1} = Q_{p_1} - \frac{V_{\text{depan0}_1}}{\beta_F} \cdot p_{\text{depan}_1} \cdot s$$

**Persamaan gaya pada silinder 1:**

$$\sum F = M \cdot \ddot{x} \rightarrow x \cdot s = \frac{A_{\text{pis}_1} (p_{b_1} - p_{d_1} \cdot CR) + (F_{L1})}{M_{\text{rod+penjepit}} \cdot s}$$

$$\text{Substitusi } Q_p = A_{\text{rod}} \cdot \frac{dx}{dt}$$

sehingga didapatkan:

$$Q_p = A_{\text{rod}} \cdot \frac{dx}{dt} = A_{\text{rod}} \cdot x \cdot s,$$

$$\text{Jika } CR = \frac{A_{\text{piston}}}{A_{\text{rod}}}$$

**Flow equation pada katup 4/3 DCV (1.1):**

$$Q_{\text{belakang}} = K_q \cdot x_v + K_{qp} \cdot (p_{\text{belakang}} + p_{\text{depan}})$$

dimana:



$$K_q = C_D \cdot w \cdot \sqrt{\frac{1}{\rho} \cdot (p_s - (p_{\text{belakang}} - p_{\text{depan}}))} \text{ dan}$$

$$K_{qp} = \frac{C_D \cdot w \cdot x_v}{\sqrt{2 \cdot \rho \cdot (p_s - (p_{\text{belakang}} - p_{\text{depan}}))}}$$

Persamaan gaya pada katup 4/3 DCV (1.1):

$$\sum F = 0$$

$$(p_{\text{belakang}} + p_{\text{depan}}) \cdot A_{\text{spool}} = k \cdot x_v$$

$$x_v = \frac{(p_{\text{belakang}} + p_{\text{depan}}) \cdot A_{\text{spool}}}{k}$$

Substitusi persamaan gaya (12) pada persamaan (11) didapatkan:

$$Q_{\text{belakang}_1} = \left[ \frac{K_q \cdot A_{\text{spool}}}{k} + K_{qp} \right] \cdot (p_{b_1} + p_{d_1})$$

Transfer function equations:

Pada Silinder 1.0

$$p_{\text{belakang}_1} = \frac{\beta}{V_{b0_1} \cdot s} \cdot \left( Q_{b_1} - \frac{Q_{p_1}}{CR} \right)$$

$$p_{\text{depan}_1} = \frac{\beta}{V_{\text{depan0}_1} \cdot s} \cdot (Q_{p_1} - Q_{\text{depan}_1})$$

Pada 4/3 DCV (1.1):

$$Q_{\text{belakang}} = K_q \cdot x_v + K_{qp} \cdot (p_b + p_d)$$

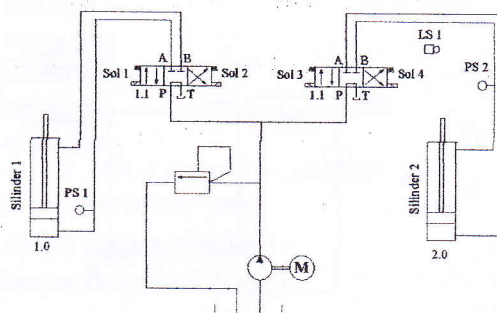
dimana:

$$K_q = C_D \cdot w \cdot \sqrt{\frac{1}{\rho} \cdot (p_s - (p_{\text{belakang}} - p_{\text{depan}}))}$$

$$K_{qp} = \frac{C_D \cdot w \cdot x_v}{\sqrt{2 \cdot \rho \cdot (p_s - (p_{\text{belakang}} - p_{\text{depan}}))}}$$

## METODOLOGI

Hydraulics circuit yang digunakan adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Hydraulics circuit Pengangkat Forklift

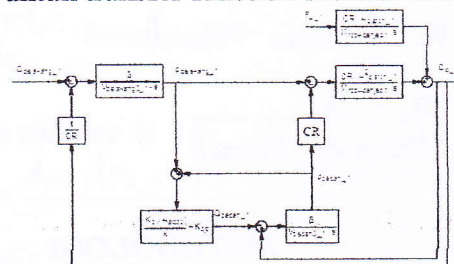


**Langkah kerja dari skema hydraulics circuit:**

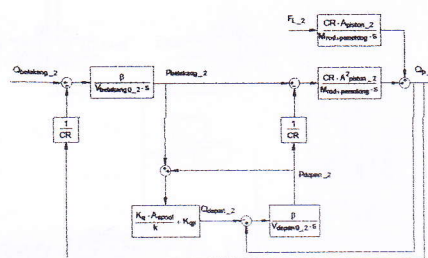
1. Pada keadaan awal silinder 1.0 dan silinder 2.0 berada pada posisi di belakang (*retract*).
2. Pedal "START" diinjak, maka *solenoid* (Sol1) pada *4/3 directional control valve* (1.1) aktif, aliran fluida dari pompa (0.1) menuju bagian belakang silinder 1.0, sehingga bergerak naik dan beban yang ada diatas silinder 1 ini akan menghasilkan momen yang akan ditahan oleh Silinder 2.
3. Saat silinder 1.0 mencapai posisi mengangkat beban, tekanan fluida yang mendorong akan meningkat sampai *pressure limit* (PS1) aktif.
4. Jika PS1 aktif, *solenoid* (Sol3) pada *4/3 directional control valve* (2.1) aktif, aliran fluida dari pompa (0.1) menuju bagian belakang silinder 2.0, sehingga akan menarik garbu pengangkat fork ke dalam. Hal ini bertujuan untuk mendekatkan titik berat benda yang diangkat mendekati garis tegak lurus sumbu roda, sehingga beban momen yang dihasilkan oleh benda yang diangkat menjadi kecil.
5. Saat proses pengangkatan selesai, silinder 2.0 masih terus bergerak maju hingga menyentuh *limit switch* (LS1).
6. Saat LS1 tersentuh, *solenoid* (Sol4) pada *4/3 directional control valve* (2.1) aktif, aliran fluida dari pompa (0.1) menuju bagian depan silinder 2.0, sehingga silinder 2.0 ini bergerak mundur hingga pada posisi awal dan selanjutnya tekanan fluida akan meningkat sampai *pressure limit* (PS2) aktif.
7. Jika PS2 aktif, *solenoid* (Sol2) pada *4/3 directional control valve* (1.1) aktif, aliran fluida dari pompa (0.1) menuju bagian depan silinder 1.0, sehingga penjepit bergerak mundur hingga kembali pada posisi awal.

**HASIL DAN ANALISIS DATA**

Block diagram untuk transfer function silinder 1.0:



Gambar 2. Block diagram silinder 1.0

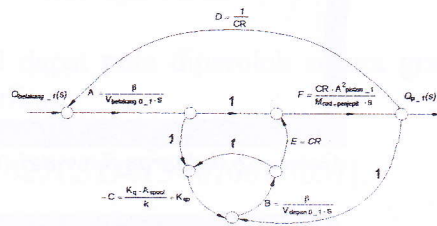


Gambar 3. Block diagram silinder 2.0

**Simplifikasi Block Diagram dan Analisa Respon silinder 1.0:**

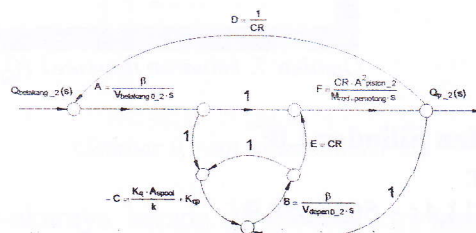


Blok diagram pada silinder 1.0 dapat digambarkan dengan metode Diagram Aliran Sinyal seperti berikut:



Gambar 4. Diagram Aliran Sinyal silinder 1.0

$$G(s) = \frac{2011,4s + 5055558,9}{s^3 + 107,7s^2 + 5085,1s + 379169,1}$$



Gambar 5. Diagram Aliran Sinyal silinder 2.0

Dari data didapatkan nilai koefisien-koefisien sebagai berikut:

$$A = \frac{\beta}{V_{belakang0\_1}} = 0,0631$$

$$B = \frac{\beta}{V_{depan0\_1}} = 0,0824$$

$$C = \frac{K_q \cdot A_{spool}}{k} + K_{qp} = 1341,07$$

$$D = \frac{1}{CR} = 0.75$$

$$E = CR = 1,333$$

$$F = \frac{CR \cdot A^2_{piston\_1}}{M_{rod + penjepit}} = 33413$$

$$AF = 2108,3603$$

$$ABCF + ABCEF = 543548,4077$$

$$BC = 110,504168$$

$$ADF + BEF = 5251,327415$$

$$ABCDF + ABCDEF = 407661,3057$$

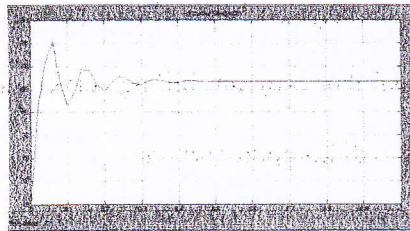
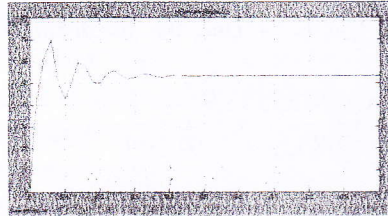
$$\text{Sehingga: } BC \cdot (ADF + BEF) > 1 \cdot (ABCDF + ABCDEF)$$

$$580293,5669 > 407661,3057$$

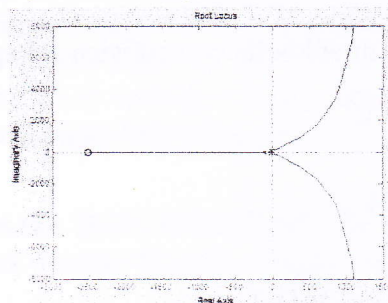
Jadi sistem dikatakan stabil secara absolut.

Hasil plotting dari keluaran flowrate1 ( $Q_{p1}$ ):



Gambar 6. keluaran flowrate1 ( $Q_{p_1}$ )Gambar 7. keluaran flowrate1 ( $Q_{p_2}$ )**Analisa Kestabilan Silinder 1.0:***Transfer function:*

$$G(s) = \frac{2011,4s + 5055558,9}{s^3 + 107,7s^2 + 5085,1s + 379169,4}$$



Gambar 8. root locus silinder 1.0

Ternyata semua akar-akarnya berada di sebelah kiri sumbu imjiner (*imaginary axis*) atau semua akar-akarnya bernilai negatif, sehingga sistem dikatakan stabil.

**Root Locus Analysis Silinder 2.0:***Transfer function:*

$$G(s) = \frac{2108,3s + 543548,4}{s^3 + 110,5s^2 + 5251,3s + 407661,3}$$

Dengan MATLAB 7.0 dapat diperoleh nilai akar-akar dari  $q(s)$  seperti berikut:

```
>>p=[1 110.504168 5251.327415 407661.3057];
```

```
>>r=roots(p);
```

```
>>r
```

```
r =
```

```
-99.0416
```

```
-5.7313 +63.9000i
```

```
-5.7313 -63.9000i
```

Jadi nilai akar-akarnya adalah:



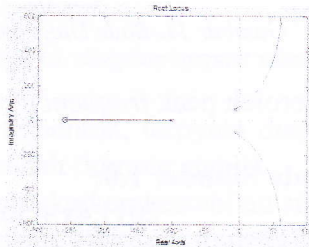
$r1 = -99.0416$   
 $r2 = -5.7313 + 63.9000i$   
 $r3 = -5.7313 - 63.9000i$

Dengan MATLAB 7.0 dapat pula diperoleh secara grafis lokasi akar-akar  $q(s)$  pada  $s$ -plane seperti berikut:

```

>> num=[2108.3603 543548.4077];
>> den=[1 110.504168 5251.327415 407661.3057];
>> H=tf(num,den);
>> rlocus(H);

```



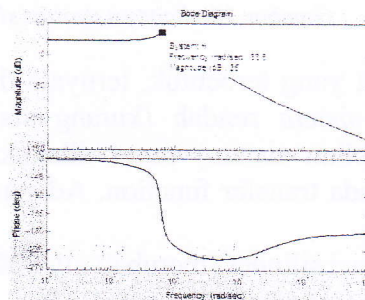
Gambar 9. root locus silinder 2.0

Ternyata semua akar-akarnya berada di sebelah kiri sumbu imjiner (*imaginary axis*) atau semua akar-akarnya bernilai negatif, sehingga sistem dikatakan stabil.

#### Relative Stability dan Frequency Response Analysis

Transfer function silinder 1.0:

$$G(s) = \frac{2011,4s + 505558,9}{s^3 + 107,7s^2 + 5085,1s + 379169,1}$$



Gambar 10. Bode Diagram silinder 1.0

Dari Bode Diagram diperoleh *peak frequency/resonant frequency* sebesar 35 dB.

#### Bode Diagram Silinder 2.0:

Transfer function silinder 2.0:

$$G(s) = \frac{2108,3s + 543548,4}{s^3 + 110,5s^2 + 5251,3s + 407661,3}$$

Dengan bantuan MATLAB 7.0 dapat digambarkan Bode Diagram seperti berikut:

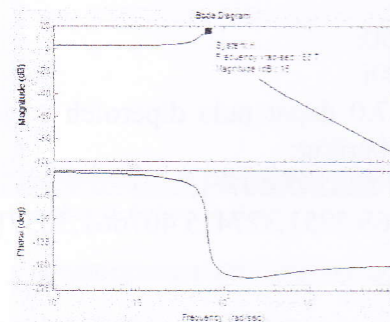
```

>> num=[2108.3603 543548.4077];
>> den=[1 110.504168 5251.327415 407661.3057];
>> H=tf(num,den);

```



```
>> bode(H);
```

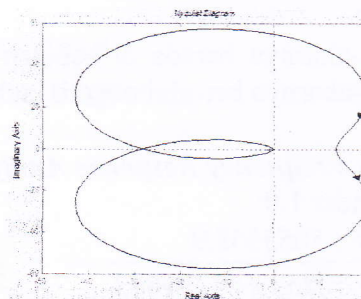


Gambar 11. Bode Diagram silinder 2.0

Dari Bode Diagram diperoleh *peak frequency/resonant frequency* sebesar 15 dB.

#### Kestabilan Nyquist pada Silinder 1.0:

$$G(s) = \frac{2011,4s + 5055558,9}{s^3 + 107,7s^2 + 5085,1s + 379169,1}$$



Gambar 12. diagram nyquist silinder 1.0

Dari diagram Nyquist yang terbentuk, ternyata diagram melingkupi titik  $(-1, 0)$ , sehingga kestabilan sistem rendah (kurang stabil). Untuk mengatasi hal ini (meningkatkan kestabilan sistem) dapat dilakukan dengan merubah koefisien-koefisien yang ada pada transfer function. Adapun langkah yang dilakukan ada 2 cara:

1. Mengganti dimensi silinder (merubah nilai notasi A, B, D, E, F)
2. Mengganti valve (merubah nilai notasi C)

Ternyata tidak semua akar-akarnya berada di sebelah kiri sumbu imjiner (*imaginary axis*) atau tidak semua akar-akarnya bernilai negatif. Dari diagram Nyquist yang terbentuk, ternyata diagram tidak melingkupi titik  $(-1, 0)$ , sehingga kestabilan sistem tinggi.

#### Kestabilan Nyquist Silinder 2.0:

*Transfer function*-nya adalah:

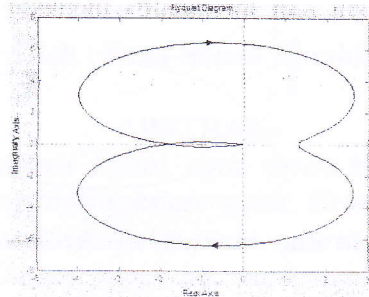
$$G(s) = \frac{2108,3s + 543548,4}{s^3 + 110,5s^2 + 5251,3s + 407661,3}$$

Dengan MATLAB 7.0 dapat diperoleh diagram Nyquist seperti berikut:

```
>> num=[2108.3603 543548.4077];
>> den=[1 110.504168 5251.327415 407661.3057];
```



```
>> H=tf(num,den);
>> nyquist(H);
```



Gambar 13. diagram nyquist silinder 2.0

Dari diagram Nyquist yang terbentuk, ternyata diagram melingkupi titik  $(-1, 0)$ , sehingga kestabilan sistem rendah (kurang stabil).

Untuk mengatasi hal ini (meningkatkan kestabilan sistem) dapat dilakukan dengan merubah koefisien-koefisien yang ada pada transfer function.

Adapun langkah yang dilakukan ada 2 cara:

1. Mengganti dimensi silinder (merubah nilai notasi A, B, D, E, F)
2. Mengganti valve (merubah nilai notasi C)

Misal: Dengan salah satu alternatif, maka transfer function berubah menjadi:

$$G(s) = \frac{2108,3s + 543548,4}{s^3 + 210,5s^2 + 5251,3s + 407661,3}$$

Dengan MATLAB 7.0 dapat diperoleh nilai akar-akar dari  $q(s)$  seperti berikut:

```
>> p=[1 210.504168 5251.327415 407661.3057];
>> r=roots(p);
>> r
```

```
r =
1.0e+002 *
-1.9427
-0.0811 + 0.4508i
-0.0811 - 0.4508i
```

Jadi nilai akar-akarnya adalah:

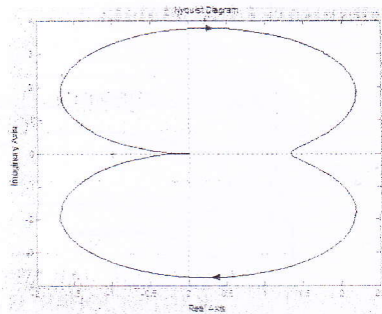
```
r1 = -1.9427
r2 = -0.0811 + 0.4508i
r3 = -0.0811 - 0.4508i
```

Ternyata semua akar-akarnya berada di sebelah kiri sumbu imjiner (*imaginary axis*) atau semua akar-akarnya bernilai negatif.

Dengan MATLAB 7.0 dapat diperoleh diagram Nyquist seperti berikut:

```
>> num=[2108.3603 543548.4077];
>> den=[1 210.504168 5251.327415 407661.3057];
>> H=tf(num,den);
>> nyquist(H);
```





Gambar 14. diagram nyquist silinder 2.0 dengan mengganti valve

Dari diagram Nyquist yang terbentuk, ternyata diagram tidak melingkupi titik  $(-1, 0)$ , sehingga kestabilan sistem tinggi.

### KESIMPULAN

1. Tiap rangkaian silinder memberikan respon pressure dan flowrate yang berbeda yang diakibatkan karena perbedaan dimensi, perbedaan tuntutan kondisi operasi, dan penggunaan komponen yang berbeda. Respon pressure dan flowrate tersebut mengindikasikan performa yang berbeda untuk tiap sistem berdasarkan tuntutan proses.
2. Hasil uji stabilitas menunjukkan bahwa sistem hidrolik pada pengangkat forklift memenuhi stabilitas.
3. Uji yang dilakukan yaitu uji stabilitas absolut, root locus analysis, bode plot dan nyquist plot.
4. Kriteria kestabilan menurut Ruth-Hurwitz didasarkan pada koefisien persamaan karakteristik dari *transfer function* sistem.
5. Kriteria kestabilan menurut Root Locus didasarkan pada lokasi akar-akar persamaan pada *s-plane* (*root locus plot*).
6. Kriteria kestabilan menurut Nyquist didasarkan pada akar persamaan karakteristik dari *transfer function* sistem serta bentuk kontur yang tergambar pada *s-plane*.

### DAFTAR PUSTAKA

1. Bishop, Robert H, Dorf, Richard C, 2004, *Modern Control System*, 10<sup>th</sup> Edition, Pierson-Prentice Hall Ltd.
2. Michail J. P, John G, Ashby, 1989, *Power Hydraulic*, Prentice hall International (UK) Ltd, Cambridge.
3. Vaughan, N. Hunt. T, 1989, *Fluid Fower System – modeling, Simulation*
4. Ogata, Katsuhiko, 1991, Teknik Kontrol Otomatik (Sistem Pengaturan), Penerbit Erlangga.